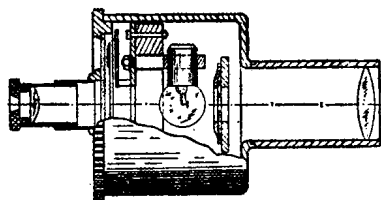


工業用高溫計

應 建 之 編 著



科 學 技 術 出 版 社

工業用高溫計

應建之編著

科學技術出版社

內 容 提 要

工業上常用的高溫計，有熱電偶高溫計、電阻溫度計、光學高溫計及全輻射高溫計等。本書從實用觀點出發，敘述這幾種高溫計之原理、用途與使用方法。在近代化的工廠中，常使用許多類型不同的自動高溫控制儀，本書亦有分類的介紹。

工 業 用 高 溫 計

編 著 者 應 建 之

*

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可證出〇七九號

上海新華印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

書 號：11

(原大東版印2,000冊)

開本850×1168 紙1/32·2 13/16 印張·1 插頁·61,000字

一九五六年三月新一版

一九五六年三月第一次印刷·印數1—2,020

定價：六 角

目 錄

第一章 熱電偶高溫計	1
(1·1) 熱電偶	2
(1·2) 熱電偶的物理原理	2
(1·3) 熱電偶中熱電勢和溫度差的關係	4
(1·4) 熱電偶的冷接點	6
(1·5) 實用上對熱電偶的要求	8
(1·6) 熱電偶的保護套管	9
(1·7) 熱電偶的標定	11
(1·8) 微伏與溫度的當量	14
(1·9) 指示儀	21
(1·10) 電位計	21
(1·11) 微伏電壓計	24
(1·12) 使用熱電偶高溫計,應注意的事項	25
第二章 電阻溫度計	27
(2·1) 電阻溫度計	27
(2·2) 電阻溫度計的物理原理	28
(2·3) 電阻溫度計之電阻的測量法	33
(2·4) 三線補償法	35
(2·5) 四線補償法	36
(2·6) 用電位計來測量電阻溫度計的電阻法	37
第三章 全輻射高溫計	40
(3·1) 全輻射高溫計	40
(3·2) 黑體及高溫體的黑體狀態	41
(3·3) 放射率	41

(3.4) 斯旦芬-波茲曼輻射定律	43
(3.5) 全輻射高溫計中的熱電偶	45
(3.6) 全輻射高溫計的種類	46
(3.7) 反射鏡式全輻射高溫計	47
(3.8) 透鏡式全輻射高溫計	48
(3.9) 全輻射高溫計的標定	49
(3.10) 影響全輻射高溫計讀數的因素	50
第四章 光學高溫計	51
(4.1) 光學高溫計	51
(4.2) 維言氏定律	52
(4.3) 光學高溫計的種類	53
(4.4) 測溫光源變更式光學高溫計	55
(4.5) 測溫光源變更式光學高溫計的標定	57
(4.6) 測溫光源固定式光學高溫計	58
(4.7) 影響光學高溫計讀數的情況及補償方法	60
第五章 自動控制高溫儀	61
(5.1) 自動控制高溫儀的原理	61
(5.2) 機械操縱式自動控制高溫儀	64
(5.3) 光電操縱式自動控制高溫儀	65
(5.4) 電感式自動控制高溫儀	66
(5.5) 附有自動記錄器的自動控制高溫儀	67
附 錄	
(一) 普通對數表	
(二) 蘇聯 III 型鉑鎳合金-鉑熱電偶之溫度-微伏當量表	
(三) 蘇聯 XA 型克羅曼-阿鉛曼熱電偶之溫度-微伏當量表	
(四) 蘇聯 XK 型克羅曼-考貝鎳熱電偶之溫度-微伏當量表	
(五) 蘇聯 XKK 型鐵-考貝鎳熱電偶之溫度-微伏當量表	
(六) 蘇聯 MK 型銅-考貝鎳熱電偶之溫度-微伏當量表	

第一章

熱電偶高溫計

熱電偶高溫計是應用熱電效應製成的測溫計。這種高溫計如圖 1•1 所示,共包括三部分:

(1) 熱電偶——此部分係由兩種不同的金屬或合金構成。它的一端放在欲測量的高溫中;

(2) 導線——導線共有兩根,將熱電偶的兩個自由端與指示儀聯

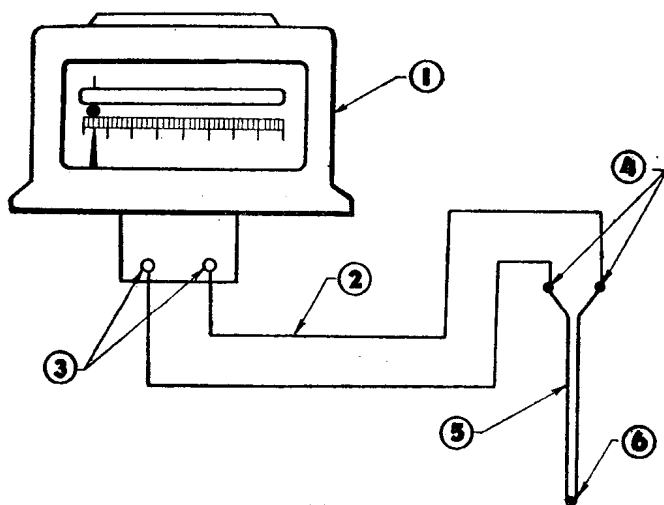


圖 1•1

1—指示儀 2—導線 3—指示儀的接線柱 4—冷接點
5—熱電偶 6—熱接點

接起來；

(3) 指示儀——是測量熱電偶的熱電勢的儀表，亦就是指示溫度的儀表。

(1.1) 熱電偶

構成熱電偶的主要部分是兩根均勻的、化學成分不同的金屬線或合金線。在兩根線的一端用銲接法或用熔接法，使之互相密合地接在一起。這端在使用時放置在高溫中，故稱熱接點。在兩根線的另一端是自由分開的，叫做自由端。此端裝有接線柱，可以用導線與指示儀相聯。在使用時，應盡量保持此端的溫度為一恆溫，最好是水的冰點 (0°C)，因此自由端被稱為冷接點，參閱圖 1.1。

熱電偶的兩根線，是用電氣絕緣的材料，將它們互相隔開的。這種絕緣材料大多是瓷和石棉等。

根據熱電偶的兩根金屬線（或合金線）的質地，熱電偶可以分做兩大類：(1) 賤金屬熱電偶——這類熱電偶都是用價格比較便宜的金屬或合金製成的（這些金屬或合金有鐵、銅、鉻鎳合金、鋁鎳合金等等）；(2) 貴金屬熱電偶——這類熱電偶是用鉑和鉑合金製成的。今將常用的幾種熱電偶的性格列表於後（見第三頁表 1.1）。

(1.2) 熱電偶的物理原理

假使把熱電偶的熱接點放置在高溫中，自由端放在恆溫中（溫度要比熱接點的溫度低，最好是水的冰點—— 0°C ），而把兩個自由端聯接起來，那末在熱電偶上，就會有熱電流產生；這個效應稱為熱電效應，是俄國彼得堡科學院會員愛皮努斯在 1758 年所發現的。

實驗可以證明：在用兩種不同導線連成的線路中，如果兩個接點的

表 1.1 常用熱電偶之性格表

種類	線的化學成分 ^①		使用溫度的範圍		最高使用溫度 ^②	
	正極線	負極線	°C	°F	°C	°F
克羅曼-阿鉛曼 熱電偶	克羅曼 (Chromel, 鉻鎳合金) Ni 90% Cr 10%	阿鉛曼 (Alumel, 鋁鎳合金) Ni 94% Al 2% Mn 3% Si 1%	-200 ~ 1200	-328 ~ 2192	1350	2462
鐵-鎳熱電偶	純鐵 Fe 100%	鎳 (Constantan, 銅鎳合金) Cu 60% Ni 40%	-200 ~ 750	-328 ~ 1382	1000	1832
銅-鎳熱電偶	純銅 Cu 100%	鎳 Cu 60% Ni 40%	-200 ~ 300	-328 ~ 572	600	1112
鉑-鉑銨合金 熱電偶	鉑銨合金 Pt 90% Rh 10%	鉑 Pt 100%	0 ~ 1450	32 ~ 2642	1700	3092
	鉑銨合金 Pt 87% Rh 13%	鉑 Pt 100%	0 ~ 1450	32 ~ 2642	1700	3092

註：①此表中之化學成分為一大約數值，各廠出品的熱電偶之金屬線之化學成分各個不同；

②此溫度僅能用在很短的時間內，否則熱電偶會被燒壞。

溫度不同，就會產生所謂熱電勢，即產生熱電流的電動勢。它的大小除了每兩種導線的化學成分有關外，還與這兩接點的溫度有關。如果把一個接點的溫度維持在恆溫狀態，那末熱電勢的大小便只和熱接點的溫度有關了；根據熱電勢的大小，我們便可測定熱接點的溫度。

(1.3) 熱電偶中熱電勢和溫度差的關係

在不同的金屬或合金組成的幾種不同的熱電偶中，熱接點和冷接點的溫度各不相同，它們的熱電勢亦是不相同的。要了解一個熱電偶的熱電勢和溫度差的關係，必須繪製各種金屬和合金的熱電勢-溫度曲線圖。各種金屬和合金的熱電勢-溫度曲線圖，是由實驗的方法繪製的。其步驟如下：(1)在座標紙上定橫座標為溫度座標，以 $^{\circ}\text{C}$ 為單位；定縱座標為熱電勢座標，其單位為微伏，簡寫為mv。(2)取一種金屬線或合金線，今設為鉻鎳合金線。將其一端與一根質純而均勻的鉑線相接，形成熱電偶，名此接點為甲。將此鉻鎳合金線的另一端與另一根質純而均勻的鉑線相接，名此接點為乙。(3)設法保持接點乙為 0°C （如放在冰水槽內）。(4)加熱於接點甲，使之達到某指定溫度，設為 800°C 。(5)量出兩個接點間的電位差，此電位差為26 mv。(6)將此溫度與電位差記入座標中；以後繼續改變接點甲的溫度，並保持接點乙的溫度，則可得到許多溫度與其對應的電位差。將這些數據都記入座標中，則可得到如圖1.2所示的鉻鎳合金的熱電勢和溫度差的關係曲線。

若更換鉻鎳合金線為他種金屬線或合金線，如鎳線、鐵線、鎳線、鋁鎳合金線……等等。依上述步驟可以繪製一張金屬和合金的熱電勢-溫度的綜合曲線圖，如圖1.2。這樣一張曲線圖是很有用的。有這樣一張圖就可以知道兩種金屬線或合金線組成熱電偶以後，熱接點的溫度與兩接點間的電位差的關係。譬如：鉑和鉑鎳合金組成熱電偶後，熱接點在 600°C 時，若冷接點的溫度為 0°C ，則冷接點的電位差是5 mv。克羅曼-阿鋁曼熱電偶，若其熱接點的溫度為 800°C ，冷接點的溫度為 0°C ，則冷接點的電位差為 $26 - (-7.3) = 33.3 \text{ mv}$ （查看圖1.2）。

在繪製電位差和溫度的關係曲線時，是選擇鉑線為標準線的，因此

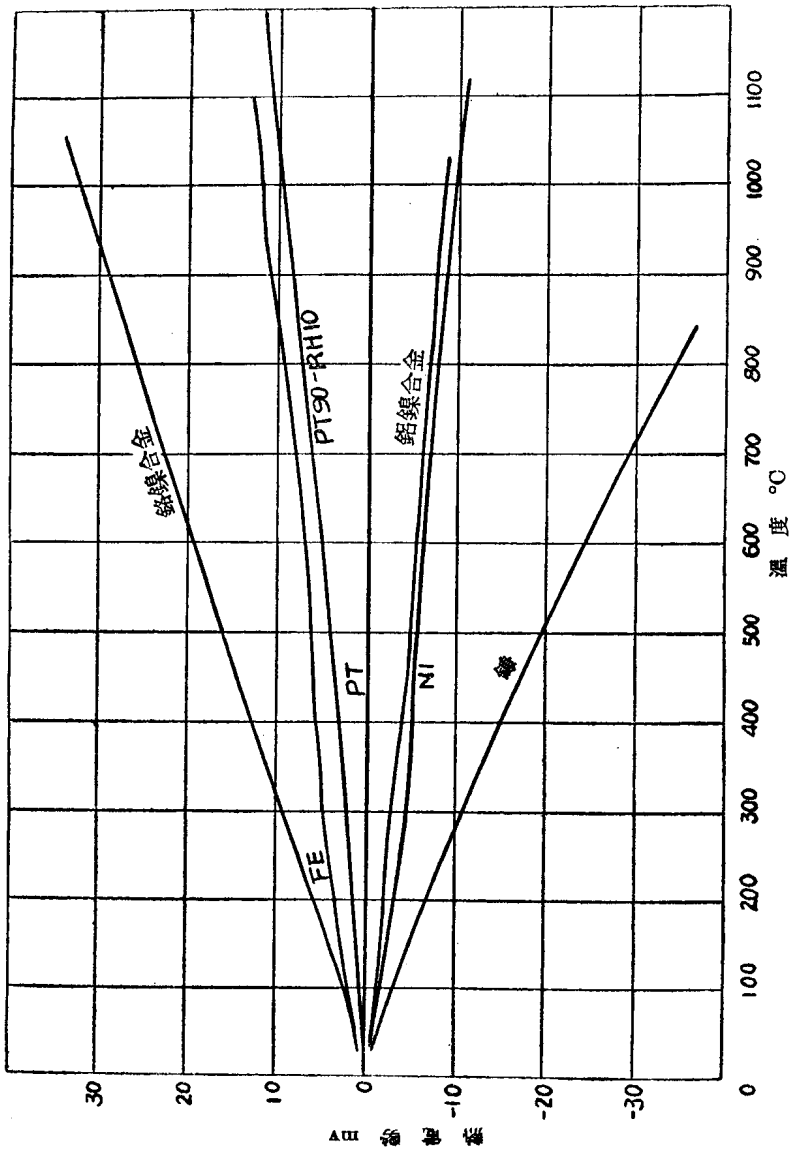


圖 1.2

假定，亦即規定鉑線在任何溫度差下，其熱電勢恆等於 0，故鉑的熱電勢和溫度曲線是一條與橫座標重合的直線。凡金屬線或合金線，與鉑線組成熱電偶做實驗時，在熱接點上，若熱電流由鉑線流出，流向他線，則此類金屬線或合金線之熱電勢為正；此類金屬和合金有銅、鐵、鉻鎳合金，鉑銻合金……等等。在圖 1·2 中，縱座標為 (+)mv 部分的曲線，如銅、鐵、鉑銻合金等等，皆為此類金屬和合金。若熱電流由他線流出，流向鉑線，則這些金屬線和合金線的熱電勢為負。在圖 1·2 中，縱座標為 (-)mv 部分的曲線，如鎳、鎳、鉛鎳合金……等等，即為這類金屬和合金。

有時亦可以用銅線來代替鉑線，來做繪製電位差和溫度曲線的實驗。用銅線測出的電位差 E' ，可以用下列公式換算成用鉑線測出的電位差 E ：

$$E = E' + 0.00313t + 0.0000123t^2 \quad (1.1)$$

式中 t 為熱接點（即實驗中之接點甲）的溫度，以 $^{\circ}\text{C}$ 計。用銅線做實驗的步驟和用鉑線做時完全相同。冷接點（即實驗中之接點乙）的溫度應當保持在 0°C 。

(1.4) 熱電偶的冷接點

在熱電偶中產生的熱電勢，除了和熱接點的溫度以及構成熱電偶的兩線的化學成分有關外，並與冷接點的溫度有關。當熱接點的溫度不變，而冷接點的溫度發生變更時，由熱電偶導出的熱電勢就會發生變化；因此，依據熱電勢來測量溫度，就不可能得到準確的結果。所以在使用熱電偶高溫計時，應當時時校正冷接點的溫度，或應用適當的補償措施來避免測得的溫度有所差誤。

一般熱電偶標定時，其冷接點的溫度為水之冰點，即 0°C 。因此，使用熱電偶時最好能保持其冷接點為 0°C ，這樣就可以直接使用標定的

指示儀(溫度表)。但在實際使用時,冷接點所處的環境,不可能正好是 0°C ,故需將冷接點置於冰水槽中,使其溫度能為 0°C 。有時因為客觀的原因,不可能設法保持冷接點的溫度為 0°C ,那麼就只好變通辦法,保持冷接點的溫度為一恆溫,設此恆溫為 $t_1^{\circ}\text{C}$,則由熱電偶測出的溫度,當加上一修正數值,此數值為 k :

$$k = (t_1 - t_0)K \quad (1.2)$$

式中 t_0 為標定熱電偶時,冷熱點的溫度,以 $^{\circ}\text{C}$ 計。 K 是係數,與熱電偶的種類和所測溫度的高低有關,其值見表1.2。

表 1.2 修正係數 K

所測溫度, $^{\circ}\text{C}$	銅-考貝鎳①	克羅曼- 考貝鎳	鐵-考貝鎳	克羅曼- 阿鉛曼	鉑銻合金-鉑
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
100	0.86	0.9	1.0	1.0	0.82
200	0.77	0.83	0.99	1.0	0.72
300	0.70	0.81	0.99	0.98	0.69
400	0.68	0.83	0.98	0.98	0.66
500	0.65	0.79	1.02	1.0	0.63
600	0.65	0.78	1.0	0.96	0.62
700		0.80	0.91	1.0	0.60
800			0.82	1.0	0.59
900			0.84	1.0	0.56
1000				1.07	0.55
1100				1.11	0.53
1200					0.53
1300					0.52
1400					0.52
1500					0.53
1600					0.53

- ① 考貝鎳 Copel, 一種銅鎳合金, 含 Ni 43~44%, Cu 56~57%。銅-考貝鎳、鐵-考貝鎳、克羅曼-考貝鎳熱電偶在測溫範圍上各相當於銅-鎳、鐵-鎳、克羅曼-鎳熱電偶, 但前三者較後三者有較大的熱電勢。

熱電偶的指示儀是電位計或微伏電壓計。若指示儀是電位計時，當冷接點的恆溫改變後，只要將補償裝置調整一下，再將電流計的指針對準 0，即可獲得溫度的直接讀數〔參閱(1·10)節〕。若指示儀是微伏電壓計，當冷接點的恆溫改變後，只要把指針依計算的溫度，重新校對一次，亦可得到溫度的直接讀數〔參閱(1·11)節〕。

若熱電偶冷接點所在地方的溫度是常常改變的，則可用補償導線將冷接點移到一恆溫室內，或將冷接點移到一冰水槽中，或將冷接點移到深約 3 公尺的地坑內，用土埋上。補償導線是比熱電偶線便宜的金屬線或合金線，它的化學成分雖然與熱電偶線不同，但是却具有同樣的熱電勢性能。

為方便起見，有將冷接點用補償導線與指示儀的接線柱相連接，並在指示儀的接線柱上裝一自動補償裝置。裝在微伏電壓計上的自動補償裝置，是一個雙金屬片，能自動地調整指針對於 0°C 的指示地位。在電位計指示儀中有一個小線圈，是用溫度係數很大的電阻線繞成的；當室內溫度變更時，能改變平衡電流計中的電流。這樣指示儀中所指出的溫度便不致受到冷接點溫度的變更，而測量得不準確。

(1·5) 實用上對熱電偶的要求

雖然任何兩種不同的金屬線或合金線連接後，即能產生熱電勢；但是在實際應用時，對於構成熱電偶的金屬線或合金線，有以下幾點的要求：

(1) 熱電偶的熱電勢，當隨着溫度連續地上升而不斷地增加。並且在一溫度與另一溫度間，需要有足夠的、可以測量得出來的電位差。

(2) 組成熱電偶的金屬線或合金線，當有防蝕、防污與防止在高溫中被氧化的性能。

(3) 熱電偶的熱電性能,不因標定溫度和連續使用而有任何變更。

(4) 組成熱電偶的金屬線或合金線的熔點,要比最高的使用溫度高一些。

熱電偶的使用溫度若比較低,兩根線的接頭用銀銲銲接即可。若使用溫度較高,則當以熔接代替銀銲。熔接的方法可用電弧熔接,亦可用氣焰熔接。若要加強熱接點的強度,可以將兩根線的近熱接點處,先互相纏繞幾圈以後,再銀銲或熔接。至於貴金屬熱電偶的熱接點,最好用電弧熔接法將其熔接起來;因為用氣焰熔接,尤其是用氧炔焰熔接,容易污染鉑線或鉑鎳合金線,同時還會使它變脆。

在標定貴金屬的熱電偶之前,最好先施以勻化熱處理。勻化熱處理的方法,是將熔接完竣的熱電偶加熱到 1500°C , 歷一小時。加熱的方法可以將熔接後的線張緊地接於兩個高溫接線柱之間,用輸入電壓 110V、電流 10 至 14 安培的方法來加熱。電流的輸入量,可由一可變電阻來改變。在加熱期間,須時時用光學高溫計或全輻射高溫計來測量線上的溫度。

(1.6) 熱電偶的保護套管

若要延長熱電偶的使用壽命,保持其標定後的準確性,尤其是當熱電偶使用在高溫時,或用來測量對熱電偶有侵蝕性物質的溫度時,熱電偶當用一保護套管來保護。保護套管是用金屬或耐高溫的材料製成的,套管一端是封閉的。電氣絕緣後的熱電偶〔見(1.1)節〕,可以由開口的一端裝入保護套管內。保護套管不宜太厚,因為太厚的保護套管會減低熱電偶的靈敏性,使熱電偶不能測量變化較小的溫度。

在實用上,對於構成熱電偶保護套管的材料有以下幾點的要求:

(1) 需要導熱率較高的材料,用這樣的材料製成的套管不致於影

響熱電偶的靈敏性，在測量變化較小的溫度時，熱電偶的反應不致於太遲鈍。

(2) 須要能耐長時間高溫的材料，這些材料能經久地在高溫中使用，而不致於破裂或損壞。

(3) 要求在高溫中剛性較高的材料，這樣的套管不致使在高溫中的熱電偶因支持不適當而產生變形。

表 1.3

保護套管的材料	使 用 範 圍		
	使 用 處	最 高 溫 度	
		°C	°F
瓷	(1) 氧化性爐氣的熱處理爐	1593	2900
	(2) 還原性爐氣的熱處理爐	1482	2700
	(3) 含有氫(H)或氨(NH ₃)的高溫爐	1482	2700
	(4) 熔化的玻璃	1538	2800
鎳	(1) 氧化性爐氣的熱處理爐	1315	2400
	(2) 還原性爐氣的熱處理爐	1315	2400
	(3) 含有氫(H)或氨(NH ₃)的高溫爐	1205	2200
27% 鉻鐵	(1) 氧化性爐氣的熱處理爐	1205	2200
	(2) 還原性爐氣的熱處理爐	1205	2200
	(3) 含有硫(S)的高溫爐	1093	2000
	(4) 熔化的鎂(Mg)		
英抗耐合金(Inconel, 含鎳79.5%、銅0.2%、鉻13%、鐵6.5% 餘為鈦與矽)	(1) 滲氮用的高溫爐	1205	2200
	(2) 含有二氧化碳(SO ₂)的高溫爐	1205	2200
	(3) 含有硫化氫(H ₂ S)的高溫爐	538	1000
	(4) 含有水蒸氣的高溫爐	1093	2000
	(5) 熔化的鉛(Pb)	1093	2000
孟耐合金(Monel metal, 含67%的鎳、30%的銅、其餘的為鐵、錳、矽與碳)	(1) 熔化的硫(S)	260	500
	(2) 鹽酸(20%)	43	110
	(3) 鹽酸(10%)	60	140

(4) 在高溫和室溫中具有適當強度的材料,如此使用者,方能握持熱電偶,並能使熱電偶承受機械震動。

今將各種保護套管的性質及其使用範圍示於表 1·3 中。

(1·7) 熱電偶的標定

製成的熱電偶必須經過標定才能使用。標定就是確定熱電偶的溫度和熱電勢的關係。

標定熱電偶的方法有二: (I) 直接標定法——直接標定法是將熱電偶放在已知的溫度中,測其對應的熱電勢,作出熱電偶的溫度-熱電勢公式或作出溫度-熱電勢曲線; (II) 間接標定法——用比較的方法將製成的熱電偶與一標準的測溫計(如電阻溫度計,經過標定的熱電偶)比較,得出熱電偶的溫度與熱電勢的關係(用公式或用曲線表示)。這種標定法叫做間接標定法。

(I) 直接標定法:當鉑-鉑鎳(90% 鉑—10% 鎳)合金熱電偶的冷接點保持 0°C 時,在 660°C 至 1063°C 之間,其溫度和熱電勢,保持公式(1·3)之關係:

$$e = a + bt + ct^2 \quad (1.3)$$

式中 e 為熱電勢,以微伏 (mv) 為單位;
 t 為溫度,單位是 $^{\circ}\text{C}$;
 a, b, c 是熱電偶常數。

每個熱電偶的熱電偶常數都不相同。在標定中,若將 a, b, c 三常數求出,則熱電偶的溫度與熱電勢的關係可用公式(1·3)表示。

決定 a, b, c 三常數的方法如下:在金 (Au) 的凝固點 $t_{\text{Au}}—1063^{\circ}\text{C}$ 、銀 (Ag) 的凝固點 $t_{\text{Ag}}—960.5^{\circ}\text{C}$ 與銻 (Sb) 的凝固點 $t_{\text{Sb}}—630.5^{\circ}\text{C}$ 中,量出與此三溫度對應的熱電勢 $e_{\text{Au}}, e_{\text{Ag}}, e_{\text{Sb}}$, 將此三溫度與熱電勢代入公式(1·3)中,成爲一個三元二次聯立方程式。

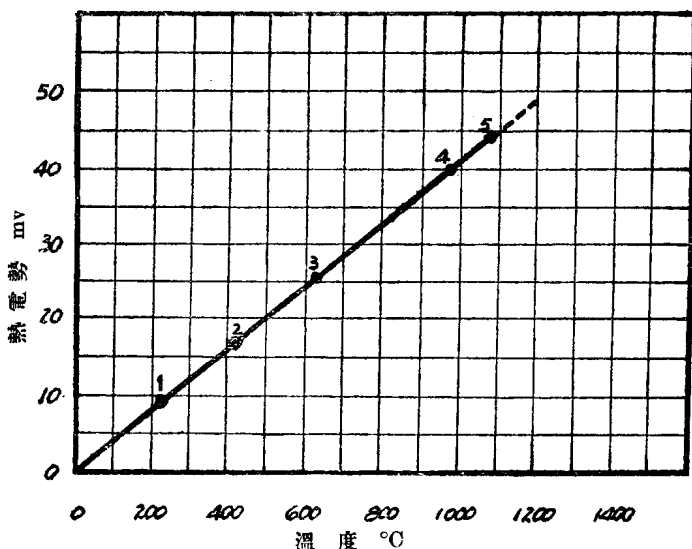
$$e_{Au} = a + b(1063) + c(1063)^2$$

$$e_{Ag} = a + b(960.5) + c(960.5)^2$$

$$e_{Sn} = a + b(630.5) + c(630.5)^2$$

解此聯立方程式，可得出 a 、 b 、 c 。

有了溫度-熱電勢公式，則知道一個熱電勢後就可用公式 (1.3) 求出溫度。但是用這種方法求出的溫度並不是十分準確的。因為，公式 (1.3) 不能完全代表溫度-熱電勢曲線；因此對於溫度準確性要求很高的熱電偶，在標定時要作出溫度-熱電勢曲線。



1 是錫的凝固點，231.9°C；

2 是鋅的凝固點，419.4°C；

3 是銻的凝固點，630.5°C；

4 是銀的凝固點，960.5°C；

5 是金的凝固點，1063.0°C。

圖 1.3 克羅曼-阿爾曼熱電偶的標定示範圖

(冷接點的溫度為 0°C)